

лучении покрытий TiN при распылении титана в атмосфере азота.

Для проведения исследования влияния покрытий на механические характеристики сталей изготавливались стандартные образцы на растяжение, ударную вязкость и усталостную прочность.

Во второй серии эксперимента был использован метод жидкостного борирования. Насыщение исследуемых сталей бором проводили при температурах 870°C, 900°C, 930°C и 1000°C. Продолжительность выдержки варьировалась от 15 минут до 4 часов. Отмечено, что повышение температуры более 870°C увеличивает жидкотекучесть ванны и ее насыщающую активность. Однако это ведет к росту зерна стали ХВСГ, изменению ее фазового состава и, как результат этого, к снижению механических и эксплуатационных характеристик инструмента.

Изменение времени выдержки в пределах от 15 до 60 минут позволяло изучить процесс формирования боридных слоев по глубине и фазовому составу. На сталях в зависимости от температурно-временных условий и состава насыщающих сред, могут образовываться слои, состоящие из боридов Fe_2B или Fe_2B+FeB . Борид FeB отличается более высокой твердостью и повышенной хрупкостью.

Результаты исследований показывают, что метод КИБ, также как и метод жидкостного безэлектролизного борирования в ваннах на основе нейтральных солей и боратов могут быть использованы для увеличения срока службы режущего инструмента, выполненного из различных сталей.

Список литературы: 1. Мельник П.И. Технология диффузионных покрытий. – К., Техника, 1978. – С. 35. 2. Гуцин Л.К., Завгородний Е.А. и др. Защитные покрытия на металлах. – К., Наукова думка, 1976. – Вып. 10. – С. 62-64. 3. Сорокин Л.М. Исследование износостойких борированных инструментов. – К., Наукова думка, 1968. – 215 с.

Поступила в редколлегию 30.06.2003

УДК 539.3

Н.А. ТКАЧУК, канд. техн. наук

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Запропоновано структуру спеціалізованої системи автоматизованого проектування. Система дає можливість створювати просторові та скінчено-елементні моделі елементів технологічної оснастки. Числові визначення міцності та жорсткості дає можливість визначити конструктивні параметри елементів технологічної оснастки.

It is proposed the structure of specialized computer-aided design (SCAD). The SCAD enable to make 3-D and finite-elements models of the machine tools elements. The numerical determination of strength and rigidity enable to determine the machine tools elements constructive parameters.

1. Состояние вопроса разработки систем автоматизированного проектирования, изготовления и исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологической оснастки. Элементы технологической оснастки служат для обеспечения базирования заготовок при их изготовлении на станках, термопластавтоматах, прессах. Будучи составным элементом технологической системы (ТС), они во многом определяют качество создаваемой машины, агрегата, узла, поскольку изготавливаемые детали несут на себе отпечаток прочностных и жесткостных характеристик элементов оснастки. Действительно, податливость элемента, в котором производится базирование детали при обработке, сказывается, причем самым непосредственным образом, на точность обработки. Это влияет и на уровень допускаемых величин усилий резания (штамповки, литья), и на предельных величинах усилий закрепления.

Таким образом, при создании систем технологического оснащения возникает большой комплекс проблем, для решения которых в современных условиях необходимо привлекать CAD/CAE/CAM – системы. Для автоматизированного проектирования и исследования элементов технологических систем разрабатываются разнообразные системы самых различных уровней универсальности. Наиболее распространенным путем решения проблемы на современном уровне является создание специализированных модулей в составе универсальной системы автоматизированного проектирования (яркий пример – Pro/ENGINEER). В то же время такой подход имеет недостатки, порожденные самой природой «тяжелых» CAD/CAE/CAM – систем: высокая универсальность, широкие возможности, разнообразный инструментарий и в то же время - слабая нацеленность на конкретные классы конструкций. Данные особенности отмечаются в работах [1, 2].

Одной из доминирующих тенденций настоящего времени – резким повышением требований к оперативности выполнения проектных работ, технологической подготовке производства и, в то же время, к точностным и жесткостным параметрам оснастки – выдвигается на передний план актуальная и важная задача создания эффективного инструмента для выбора рациональных параметров оснастки. Ниже описано решение этой задачи, являющееся развитием подходов, предложенных в работах [1, 2].

2. Постановка задачи. Задача автоматизированного проектирования элементов технологической оснастки состоит в определении ее структуры и обоснованных конструктивных параметров для последующего пространственной модели и проектной документации. При использовании CAD/CAE/CAM – систем это предполагает работу с различными типами информации (геометрическая, технологическая, экономическая, данные о физико-механических процессах и т.д.). Особенностью CAE-систем является необходимость оперирования со всеми типами информации.

Для информации, которой оперирует CAE-система, характерно соедине-

ние различных ее типов. Действительно, с точки зрения математического описания формы изделия САЕ–система использует данные CAD–модулей. Для моделирования технологических нагрузок, граничных условий и условий сопряжения при исследовании напряженно-деформированного состояния или проведении других исследований необходимы данные из САМ–системы. Моделирование той или иной задачи математической физики производится при помощи средств, способов и структур численных данных, которые имеются в арсенале самой САЕ–системы. Таким образом, САЕ–система оперирует частично с математически точными данными, частично с приближенными (например, полученными извне в результате измерений в ходе реальных процессов). С другой стороны, присутствует отдельный класс данных, которые заранее предсказать невозможно (например, конечно-элементная сетка при решении задачи с использованием метода конечных элементов, типы конечных элементов, метод решения систем уравнений и т.д.). Кроме того, может быть неоднозначным и сам состав информации (например, множество значимых факторов при исследовании того или иного явления).

При проектировании и исследовании элементов технологической оснастки, как следует из анализа информационной базы CAD/CAE/CAM–систем, необходимо решить задачу определения рациональной структуры и параметров конструкции с учетом обеспечения необходимого уровня прочности и жесткости:

$$s^*, p^*: K(s^*, p^*) \rightarrow \min \quad (1); \quad L(S, P, u, r, t) = 0 \quad (2); \quad G(S, P, u, r, t) \geq 0, \quad (3)$$

где S – структура конструкции;

P – множество конструктивных и технологических параметров;

S^*, P^* – искомые структура и значения параметров;

K – минимизируемый функционал;

L – оператор краевой задачи относительно переменных состояния u в области пространства Ω с границей Γ ;

r, t – радиус-вектор точек Ω и Γ и время;

G – оператор ограничений, определяющих некоторую область в параметрическом пространстве P .

При решении задачи (1)–(3) предполагается выполнение комплекса работ (моделирование, конечно-элементная разбивка, многовариантные исследования, постпроцессинг), которые сопровождаются операциями с информационными массивами. Если обозначить через Q множество операций, которые требуется произвести исследователю, через i – объем требуемой от исследователя информации, через R – требуемый ресурс вычислительных мощностей, то интегральную эффективность процесса исследований в общем виде можно записать в качестве функций

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(Q(H), i(H), R(H), H), \quad (4)$$

где H – структура построения процесса решения задачи (1)–(3).

Требование минимизации \mathcal{E} является в определенной форме требованием создания эффективного подхода к процессу автоматизированного проектиро-

вания и исследования элементов технологической оснастки.

3. Структура специализированной интегрированной системы автоматизированного исследования элементов технологической оснастки. При решении задачи (1)-(4) в реальных условиях приходится учитывать, что сам процесс автоматизированного проектирования, изготовления и исследования элементов технологической оснастки является многогранным, творческим процессом с участием соответственно конструкторов, технологов, менеджеров, исследователей. Сами информационные потоки характеризуются своей структурой, схемами обработки и хранения. Имеет значение опыт и квалификация участников этого процесса, оснащенность аппаратными средствами, программным обеспечением. Таким образом, количественная оценка Q, i, R , а также \exists само по себе представляет отдельную сложную задачу (часто в условиях неполноты и нечетности исходных данных, при неполном или избыточном множестве значимых факторов, при изменяющихся критериях и ограничениях). Однако сама по себе задача повышения эффективности процесса проектирования, исследования и изготовления элементов технологической оснастки достаточно важная и требует решения. Предложена следующая технология ее решения:

1) разрабатывается некоторая технология (способ, структура H^S) построения решения задачи (1)-(4);

2) на основе сравнения с традиционной схемой решения задачи H^T показываются преимущества H^S , т.е. выполнение условий

$$Q(H^S) \leq Q(H^T) \quad i(H^S) \leq i(H^T) \quad R(H^S) \leq R(H^T) \quad (5)$$

в силу чего делается вывод о том, что H^S является если не решением задачи (1)-(4), то его хорошим приближением:

$$\exists(Q, R, H^S) > \exists(Q, i, R, H^T); \quad (6)$$

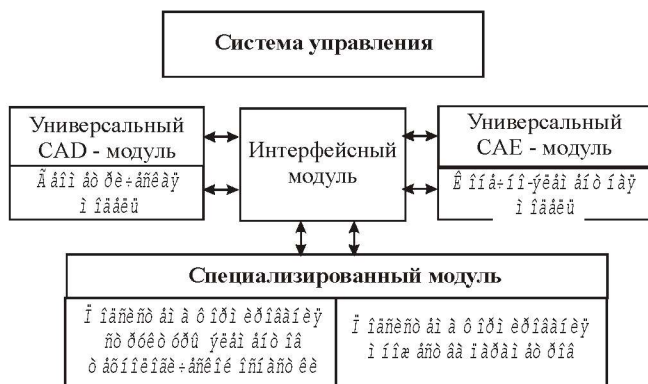
3) задача определения достоверных численных моделей элементов технологических систем вычленяется в отдельную задачу.

При разработке структуры H^S был предложен в качестве основы интегрированный подход, позволяющий соединить преимущества универсальных и специализированных систем (см. рисунок).

Для подтверждения соотношений (5)-(6) рассмотрим информационные потоки при проектировании и исследовании элементов технологической оснастки. При формировании исходных данных для специализированного модуля (см. рис.1). Требуется только ввод минимального количества параметров, полностью и однозначно определяющих ту или иную конструкцию. Выполнение операций от исследователя практически не требуется. Объем ресурсов при этом практически совпадает с традиционной схемой. При этом

$$i^S \rightarrow \min, \quad Q^S = 0, \quad R^S = R^T, \quad (7)$$

что влечет за собой выполнение условия (6).



Структурная схема системы автоматизированного исследования элементов технологической оснастки

Характерной особенностью предложенного подхода является расширенный параметрический подход. Под параметрами в данном случае понимаются и конструктивные, и технологические, и эксплуатационные параметры, а также характеристики внешних воздействий, особенности конечно-элементной сетки и т.д. Специализированный модуль настроен на определенный класс конструкций. При изменении этого класса требуется только изменение подсистемы формирования структуры исследуемой конструкции. Использование расширенного параметрического подхода предполагает при этом формирование в специализированном модуле характеристик геометрической формы, параметров технологического оборудования, действующих нагрузок и т.д. С использованием команд универсальных систем и исходных данных от специализированного модуля производится построение геометрической и конечно-элементной моделей исследуемых объектов. Благодаря специальному интерфейсному модулю обеспечивается двусторонняя связь по параметрам, а значит, и направленный многовариантный расчет характеристик напряженно-деформированного состояния. Дополнительно достигается оперативность, учет специфики исследуемого класса объектов, низкая стоимость исследований. Кроме того, специализированный модуль позволяет формировать данные для верификации расчетных моделей исследуемых объектов по результатам экспериментальных исследований.

4. Заключение. Разработанный подход был использован при расчетах напряженно-деформированного состояния элементов штампов и пресс-форм с использованием специализированных подсистем, интегрированных в универсальные CAD/CAE/CAM-системы «ХАРЬКОВ-ШТАМП» и «ХАРЬКОВ-ПРЕСС» (разработка Харьковского НИИ технологии машиностроения). Одним из наиболее важных вопросов при проектировании штампов и пресс-форм являются обеспечение прочности и жесткости подкладных плит штампов и нераскрытия стыка в сопряжении полуматриц пресс-форм. В процессе исследований от исследователя

требуется ввод только основных параметров. Далее производится анализ напряженно-деформированного состояния элементов оснастки, по результатам которых рекомендуется соответствующий набор конструктивных параметров.

Предложенный подход позволяет создавать высокоэффективный инструмент для исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологической оснастки. Высокая эффективность разработанных методов обеспечивается использованием расширенного параметрического подхода, широких возможностей мощных универсальных графических редакторов, систем автоматизированного проектирования и подтверждена на практике в ходе разработки пресс-форм, приспособлений для металлорежущих станков, штампов, приспособлений для сварочных работ, универсальных сборных приспособлений.

Список литературы: 1. Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // Механика та машинобудування. 2002. №1. – С. 6-13. 2. Ткачук Н.А. Интенсивная схема экспериментальных исследований элементов технологических систем. // Динамика и прочность машин. 1998. Вып. 56. – С. 175-181.

Поступила в редколлегию 16.06.2003

УДК 539.3

Л.С.АНДРИЕВСКАЯ, канд.техн.наук; **Л.В.КУРПА**, докт.техн.наук,
И.О.МОРАЧКОВСКАЯ, канд.техн.наук

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ИЗГИБА ГИБКИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК МЕТОДОМ ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЙ

У статті надано огляд результатів дослідження нелінійного пружно-пластичного згину гнучких пологих оболонок, контур границь яких у плані має довільно неперервну змінювану кривину, отвори і надрізи, що отримані на основі узагальненого аналітичного опису нелінійного деформування і розв'язування задач згину гнучких пологих оболонок із застосуванням методу RFM теорії R-функцій, відмінного від широко відомих методів аналітичним представленням рішення крайових задач. У програмуючій системі «Поле» отримані дані з достовірності результатів розрахунків та визначені закономірності впливу форми границь оболонок на їхнє деформування.

The effective method basing on theory of R-functions and variational structural method is developed for solving of non-linear boundary problems. Elastic-plastic bending of thin shallow shells is considered. The problems are reduced to finding of stationar points of suggested mixed variational functionals according to initial linearization by use of schemes of subsequent loading and Newton-Kantorovich jointly with method of varying elastic parameters. The method is used for automatic calculations in «POLE» programming system for calculations of shell structural elements. The numerical justification of the method is given. New laws of non-linear deformation of shallow shells and plates with complex shape in plane are established.